

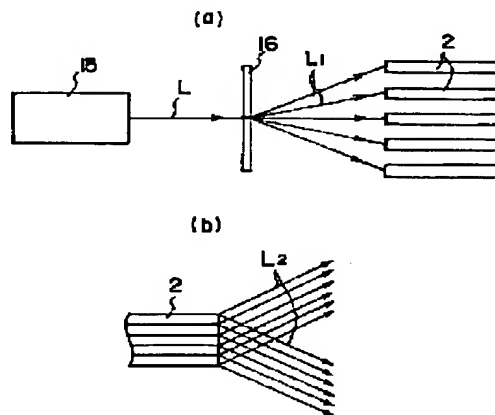


PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000121836 A**(43) Date of publication of application: **28.04.00****(54) LIGHT SOURCE DEVICE, ILLUMINATING METHOD AND DEVICE THEREFOR AND OPTICAL DEVICE****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a light source device capable of emitting a light without reducing a light quantity by making the outgoing light of a laser incident on multimode optical fibers with high efficiency and reducing the coherence of incident coherent lights and to provide an illuminating method and a device therefor and to provide an optical device.

SOLUTION: The outgoing light L of a laser 15 is branched into plural optical beams L1 by a diffraction optical element 16 and respective light beams L1 are made incident on plural multimode optical fibers 2 one for one. Moreover, the outgoing light of the laser 15 can be used efficiently with high efficiency by making spot diameters of the light beams smaller than the core diameters of the multimode optical fibers.



COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(51) Int. Cl

G02B 6/00
F21V 8/00
G02B 21/06
H01S 5/026

(21) Application number: **10287881**(71) Applicant: **SONY CORP**(22) Date of filing: **09.10.98**(72) Inventor: **SUGANUMA HIROSHI**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-121836

(P 2 0 0 0 - 1 2 1 8 3 6 A)

(43) 公開日 平成12年4月28日(2000.4.28)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
G02B 6/00	331	G02B 6/00	2H038
F21V 8/00		F21V 8/00	B 2H052
G02B 21/06		G02B 21/06	5F073
H01S 5/026		H01S 3/18	616

審査請求 未請求 請求項の数47 O L (全18頁)

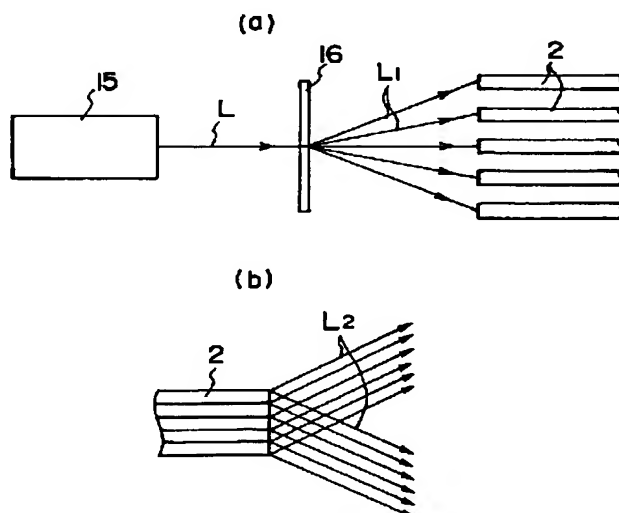
(21) 出願番号	特願平10-287881	(71) 出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(22) 出願日	平成10年10月9日(1998.10.9)	(72) 発明者	菅沼 洋 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
		(74) 代理人	100076059 弁理士 逢坂 宏
		Fターム(参考)	2H038 AA52 AA54 BA01 2H052 AC12 AC25 AC26 AC27 AC33 AC34 5F073 BA09

(54) 【発明の名称】 光源装置、照明方法及びその装置、並びに、光学装置

(57) 【要約】

【課題】 レーザーの出射光を高効率で多モード光ファイバーに入射させ、入射するコヒーレント光のコヒーレンスを低減して、光量を低下させることなく出射させることのできる光源装置、照明方法及びその装置、並びに光学装置を提供すること。

【解決手段】 レーザー15の出射光Lを回折型光学素子16によって複数の光ビームL₁に分岐し、それぞれの光ビームL₁を複数の多モード光ファイバー2に対して一対一で入射させる。更にこの光ビームスポット径を多モード光ファイバーのコア径よりも小さくすることにより、レーザー15の出射光Lを無駄無く高効率で利用することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 コヒーレント光を複数の光ビームに分岐する光分岐手段と、この分岐手段によって分岐された光ビームを一端側から入射させ、他端側から出射させる、複数の多モード又はシングルモード光ファイバーとを有し、前記分岐された光ビームのそれぞれが、前記複数の光ファイバーのそれぞれに対応して入射するように構成した光源装置。

【請求項 2】 前記入射位置において、前記光ビームが前記光ファイバーの径と同等若しくはそれ以下のビーム径を有するように構成した、請求項 1 に記載した光源装置。

【請求項 3】 前記分岐光のビームスポット径が、前記光ファイバーのコア径と同等若しくはそれよりも小さい、請求項 2 に記載した光源装置。

【請求項 4】 前記コヒーレント光が回折型光学素子で前記光ビームに分岐され、前記光ファイバーの入射端側に入射する、請求項 1 に記載した光源装置。

【請求項 5】 前記回折型光学素子がバイナリーオプティクス又はホログラムなどとして構成されている、請求項 4 に記載した光源装置。

【請求項 6】 前記コヒーレント光のコヒーレンス長以上に前記光ファイバーの長さが互いに異なる、請求項 1 に記載した光源装置。

【請求項 7】 前記複数の光ファイバーのいずれかを曲げることにより、これらの光ファイバーの長さを互いに異ならせる、請求項 6 に記載した光源装置。

【請求項 8】 前記複数の光ファイバーの光入射位置を、各光ファイバー間で同一若しくはほぼ同一とする、請求項 1 に記載した光源装置。

【請求項 9】 前記複数の光ファイバーが、少なくとも光出射位置及び／又は光入射位置で束ねられている、請求項 1 に記載した光源装置。

【請求項 1 0】 前記コヒーレント光が可視域のレーザー光である、請求項 1 に記載した光源装置。

【請求項 1 1】 前記コヒーレント光が紫外域のレーザー光である、請求項 1 に記載した光源装置。

【請求項 1 2】 コヒーレント光を複数の光ビームに分岐し、この分岐した光ビームを複数の多モード又はシングルモード光ファイバーの一端側から入射させ、他端側から出射させて照明光として用い、前記分岐した光ビームのそれぞれを、前記複数の光ファイバーのそれぞれに対応して入射させる照明方法。

【請求項 1 3】 前記入射位置において、前記光ビームのビーム径を前記光ファイバーの径と同等若しくはそれ以下とする、請求項 1 2 に記載した照明方法。

【請求項 1 4】 前記分岐光のビームスポット径を、前記光ファイバーのコア径と同等若しくはそれよりも小さくする、請求項 1 3 に記載した照明方法。

【請求項 1 5】 前記コヒーレント光を回折型光学素子

で前記光ビームに分岐し、前記光ファイバーの入射端側に入射させる、請求項 1 2 に記載した照明方法。

【請求項 1 6】 前記回折型光学素子をバイナリーオプティクス又はホログラムなどとして構成する、請求項 1 5 に記載した照明方法。

【請求項 1 7】 前記コヒーレント光のコヒーレンス長以上に前記光ファイバーの長さを互いに異ならせる、請求項 1 2 に記載した照明方法。

【請求項 1 8】 前記複数の光ファイバーのいずれかを曲げることにより、これらの光ファイバーの長さを互いに異ならせる、請求項 1 7 に記載した照明方法。

【請求項 1 9】 前記複数の光ファイバーの光入射位置を、各光ファイバー間で同一若しくはほぼ同一とする、請求項 1 2 に記載した照明方法。

【請求項 2 0】 前記複数の光ファイバーを、少なくとも光出射位置及び／又は光入射位置で束ねる、請求項 1 2 に記載した照明方法。

【請求項 2 1】 前記コヒーレント光に可視域のレーザー光を用いる、請求項 1 2 に記載した照明方法。

【請求項 2 2】 前記コヒーレント光に紫外域のレーザー光を用いる、請求項 1 2 に記載した照明方法。

【請求項 2 3】 前記照明光を、表示装置、計測装置、顕微鏡又は露光装置の入射光として用いる、請求項 1 2 に記載した照明方法。

【請求項 2 4】 コヒーレント光を複数の光ビームに分岐する光分岐手段と、この分岐手段によって分岐された光ビームを一端側から入射させ、他端側から照明光として出射させる、複数の多モード又はシングルモード光ファイバーとを有し、前記分岐された光ビームのそれぞれが、前記複数の光ファイバーのそれぞれに対応して入射するように構成した照明装置。

【請求項 2 5】 前記入射位置において、前記光ビームが前記光ファイバーの径と同等若しくはそれ以下のビーム径を有するように構成した、請求項 2 4 に記載した照明装置。

【請求項 2 6】 前記分岐光のビームスポット径が、前記光ファイバーのコア径と同等若しくはそれよりも小さい、請求項 2 5 に記載した照明装置。

【請求項 2 7】 前記コヒーレント光が回折型光学素子で前記光ビームに分岐され、前記光ファイバーの入射端側に入射する、請求項 2 4 に記載した照明装置。

【請求項 2 8】 前記回折型光学素子がバイナリーオプティクス又はホログラムなどとして構成されている、請求項 2 7 に記載した照明装置。

【請求項 2 9】 前記コヒーレント光のコヒーレンス長以上に前記光ファイバーの長さが互いに異なる、請求項 2 4 に記載した照明装置。

【請求項 3 0】 前記複数の光ファイバーのいずれかを曲げることにより、これらの光ファイバーの長さを互いに異ならせる、請求項 2 9 に記載した照明装置。

【請求項 3 1】 前記複数の光ファイバーの光入射位置を、各光ファイバー間で同一若しくはほぼ同一とする、請求項 2 4 に記載した照明装置。

【請求項 3 2】 前記複数の光ファイバーが、少なくとも光出射位置及び／又は光入射位置で束ねられている、請求項 2 4 に記載した照明装置。

【請求項 3 3】 前記コヒーレント光が可視域のレーザー光である、請求項 2 4 に記載した照明装置。

【請求項 3 4】 前記コヒーレント光が紫外域のレーザー光である、請求項 2 4 に記載した照明装置。

【請求項 3 5】 表示装置、計測装置、顕微鏡又は露光装置の光源として用いられる、請求項 2 4 に記載した照明装置。

【請求項 3 6】 コヒーレント光を複数の光ビームに分岐する光分岐手段と、この分岐手段によって分岐された光ビームを一端側から入射させ、他端側から出射させる、複数の多モード又はシングルモード光ファイバーとを有し、

前記分岐された光ビームのそれぞれが、前記複数の光ファイバーのそれぞれに対応して入射するように構成した光源装置と；この光源装置からの光を直接的又は間接的に入射させる光学素子と；を有する光学装置。

【請求項 3 7】 前記入射位置において、前記光ビームが前記光ファイバーの径と同等若しくはそれ以下のビーム径を有するように構成した、請求項 3 6 に記載した光学装置。

【請求項 3 8】 前記分岐光のビームスポット径が、前記光ファイバーのコア径と同等若しくはそれよりも小さい、請求項 3 7 に記載した光学装置。

【請求項 3 9】 前記コヒーレント光が回折型光学素子で前記光ビームに分岐され、前記光ファイバーの入射端側に入射する、請求項 3 6 に記載した光学装置。

【請求項 4 0】 前記回折型光学素子がバイナリーオプティクス又はホログラムなどとして構成されている、請求項 3 9 に記載した光学装置。

【請求項 4 1】 前記コヒーレント光のコヒーレンス長以上に前記複数の光ファイバーの長さが互いに異なる、請求項 3 6 に記載した光学装置。

【請求項 4 2】 前記複数の光ファイバーのいずれかを曲げることにより、これらの光ファイバーの長さを互いに異ならせる、請求項 4 1 に記載した光学装置。

【請求項 4 3】 前記複数の光ファイバーの光入射位置を、各光ファイバー間で同一若しくはほぼ同一とする、請求項 3 6 に記載した光学装置。

【請求項 4 4】 前記複数の光ファイバーが、少なくとも光出射位置及び／又は光入射位置で束ねられている、請求項 3 6 に記載した光学装置。

【請求項 4 5】 前記コヒーレント光が可視域のレーザー光である、請求項 3 6 に記載した光学装置。

【請求項 4 6】 前記コヒーレント光が紫外域のレーザー

光である、請求項 3 6 に記載した光源装置。

【請求項 4 7】 表示装置、計測装置、顕微鏡又は露光装置の光源として構成されている、請求項 3 6 に記載した光学装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光源装置、照明方法及びその装置、並びに、光学装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、例えば投射型液晶ディスプレイや計測装置等の照明装置に用いる照明光の光源としては、コストや簡便性など様々な理由から、ランプや発光ダイオード（LED：light emitting diode）などのインコヒーレント（非干渉性）光源が用いられてきた。

【0003】これに対して、固体レーザー、気体レーザー、半導体レーザー等のレーザーを光源とするレーザー光を照明光に用いようとする試みが行われている。レーザー光は指向性に優れると同時に高い強度を有しており、コヒーレント性（干渉性）の高い光ビームであるが、ここで最も技術的に困難な問題となるのは、コヒーレント性の高さ故に発生するスペックル（又はスペックルノイズ）である。

【0004】例えば、半導体レーザーは、光電変換効率が非常に高く、指向性に優れたレーザー光を出射する光源であるが、干渉性の高さによるスペックルの問題故に、照明用光源として用いられることは少なかった。

【0005】また、1970年代には、レーザー光を用いたディスプレイ（以下、レーザーディスプレイと称する。）の研究が各地で行われたが、光源の出力不足や変調方法などの課題の他にその実用化の障害となった問題の一つは、このスペックルの問題であった。

【0006】近年、固体レーザーの波長変換を用いた高出力レーザーや、赤（R）・緑（G）・青（B）の三原色を発振可能な半導体レーザー、さらに、液晶やマイクロマシンを用いた空間光変調器（ライトバルブ）など、レーザーディスプレイのキーコンポーネントとなる要素技術の開発が急ピッチで進んでいる。

【0007】ところで、N個の互いにインコヒーレントで（即ち、相互に干渉しない）、無相関なスペックルパターンを重ね合わせるとき、その和は各スペックルパターンの強度和となり、このときスペックルのコントラストは $1/\sqrt{N}$ に低下することが知られている。

【0008】従って、N本の光ファイバーをバンドルして、それぞれの光ファイバーの長さを、干渉性が無くなる分だけ一本一本の長さを変えれば、各光ファイバー間の干渉は無視できるようになる。この時のスペックルは、各光ファイバーによって生じるスペックルパターン I_1 、 I_2 、 \dots 、 I_N の強度の重ね合わせである。従って、スペックルのコントラストは平均化（均一化）によ

10

20

30

40

50

って低下する。即ち、無相関で強度が等しいスペックルパターンを N 個重ね合わせれば、そのコントラストは $1/N$ になる。

【0009】スペックル（スペックルパターン）は、近年、半導体露光装置の分野でも大きな問題になってきており、これに対する対策が進められている。これは、解像度の向上に伴い、短波長光源としてのエキシマレーザーが導入されてきたことが背景にある。

【0010】例えば、半導体装置の露光処理を行うに際しては、コヒーレンスの制御、即ちスペックル対策として、図22に示すように、長さの異なるエレメントから構成されるフライアイレンズ20を用い、このフライアイレンズ20の出射側端面とマスク22との間であって、互いからの距離 f の位置にレンズ21を配するといったコヒーレンス低減法が提案されている（渋谷真人、上原誠、“照明光学装置”、特公昭60-230629号公報参照）。

【0011】しかしながら、この方法では、フライアイレンズ20のエレメント長が大きくなり、また、図示の如く、各エレメントからの照明領域の大きさが異なるので効率が低下するなどの課題があった。

【0012】また、同様の効果を、図23に示すようなブリズム23を用いて実現することが提案されている（特願昭63-22131号公報参照）。しかしながら、この方法は、コヒーレンス低減効果が不十分であり、また、光学的ロスが大きい。

【0013】また、原理的には、屈折率の分散を用いて同様の効果をあげることできるが、通常の屈折率分散を用いる方法で十分な効果を得るためには、コヒーレンス低減のためにエレメントが巨大化するという問題があった。

【0014】この他にも、コヒーレンス制御の手法は数多く提案されている。しかしながら、いずれの手法によっても、ディスプレイや顕微鏡等において、被照明物体と肉眼との間に生じるスペックルを十分に低下させるには至っていない。さらに、このスペックルを取り除くためには、リソグラフィなどの投影露光装置よりも厳しいコヒーレンス制御が必要になる。

【0015】即ち、図24に示すように、照明光 a によって照明された物体24は、レンズ25によってスクリーン26上にその像27を結ぶ。ここで、照明光 a がコヒーレント光の場合、物体24の粗面状態やレンズ25の光学面の状態等によるランダムな位相の錯乱を受けて、スクリーン26上の像27はスペックルを伴う。

【0016】さらに、図25に模式的に示すように、物体のレンズによるスクリーン上の像を目で観察することは、物体30のレンズ31によるスクリーン32上の像を眼球33によって網膜34に結像することに他ならない。即ち、この過程で、スクリーン32と眼球33における光の錯乱によってランダムな位相のずれが光路上

に生じ、この結像過程でもスペックルが発生する。また、たとえスクリーン32上の像にスペックルが重畳されていなくても、像平面上で空間的コヒーレンスがあれば、肉眼（網膜34又は図24の観察者28）上で2次のスペックルが生じる。

【0017】また、リソグラフィ技術に基づく投影露光装置において用いられるミラー揺動や回転拡散板などの手法は、コヒーレンスを低下させる訳ではなく、スペックルを移動させて平均化させるだけなので、これらの手法を用いても、肉眼に生じるスペックルに対する効果はあまりない。この手法をディスプレイ等に適応しようとすれば、スクリーンなどの被照明物体と目の間の位置関係が変わるよう、スクリーンを振動させる他ない（Eric G. Rawson, Antonio B. Nafarrate, Robert E. Norton, Joseph W. Goodman, "Speckle-free rear-projection screen using two close screens in slow relative motion," Journal of Optical Society of America, Vol. 66, No. 11, November 1976, pp1290-1294参照）。しかしながら、これは実用上はなほ不便である。

【0018】他方、これまで光ファイバーは、主に通信用途を目指して開発が進められており、その構成材料としては石英などを主成分とするガラス材料（ガラスファイバー）が主に用いられてきた。また、モード分散を避けるために、シングルモード光ファイバー（単一モード光ファイバー）の開発に主眼が置かれてきた。

【0019】また、ガラスファイバーは、可視短波長域では散乱が増加し、その透過率が低下する。従って、可視光に対する光ファイバーの応用は、長距離の電送を必要としない顕微鏡などの照明用の多モード光ファイバー束（多モード光ファイバーバンドル）などに限られてきた。特に、多モード光ファイバー（マルチモード光ファイバー）を用いた場合、出射光の強度分布が均一になるため、フライアイレンズなどの複雑な光学系を必要としないことも大きなメリットである。

【0020】これに対して、最近、プラスチック多モード光ファイバーが開発されて、注目を集めている（Takaki Ishigure, Eisuke Nihei, and Yasuhiro Koike, "Graded-index polymer optical fiber for high-speed data communication", Applied Optics, Vol. 33, No. 19, 1. July 1994, pp4261-4266 参照）。プラスチック多モード光ファイバーは、ガラスファイバーに比べて、安価で軽量であり、可視域において最大の透過効率を示すという特徴がある。さらに、多モード分散も通常のガラスファイバーに比べて非常に大きい。

【0021】また、最近では、紫外レーザー電送用の中空導波路も研究されている（第58回応用物理学学会学術講演会予稿集、3a-SR-18、坪倉正樹、橋新裕一、久保宇市、「紫外レーザーパワー電送用中空導波路の改善」参照）。

【0022】なお、多モード光ファイバー伝搬中のコヒ

ーレント光の多モード分散により、スペックルのコントラストが低下することは既に知られていた（今井正明、「光ファイバーのゆらぎ特性とスペックル」、光学第8巻第3号、1979年、p128-134参照）。

【0023】即ち、図26に示すように、コア6とクラッド5とからなる多モード光ファイバー2中では、異なるモードを有するレーザー光（光ビーム）36及びレーザー光（光ビーム）37はそれぞれ異なる伝搬速度を有しているため、多モード光ファイバー2の出射端38側にて、互いに異なるモード成分を有する光ビームが、異なる時間（ t_1 、 t_2 及び t_3 ）に入射した光ビームに対応するようになる。従って、もし、このモード分散による広がりコヒーレンス長以上ならば、出射光のコヒーレンスは低下する。

【0024】しかしながら、このような多モード光ファイバー単独では、十分に光強度の大きなレーザー光を伝搬させることは困難であり、また、これを束ねた場合（バンドルした場合）でも、各光ファイバーから出射されるレーザー光が相互に可干渉性を有しているため、コヒーレンスの制御、即ちスペックルを十分に低減させることは困難であり、さらに、これを照明用途に実用的に応用するには、分散が大きく可視域での透過率の高い光ファイバーが必要となる。

【0025】Gloge は、多モード弱結合光ファイバーの半径方向のモードを無視し、パワーの時間軸上の伝搬のみに注目した解析を行い、多モード光ファイバーのインパルス応答（インパルスレスポンス）を求めた（D. Gloge, Bell Syst. Tech. Jour., 52, 6, 801-816 (1973)、D. Gloge, Bell Syst. Tech. Jour., 51, 8, 1767-1783 (1972)、大越、岡本、保立、「光ファイバー」、9章、オーム社（1983）参照）。

【0026】つまり、光ファイバー中を伝搬する光ビームのモード間が弱結合している場合、伝搬中に屈折率のゆらぎや光ファイバーの曲げなどにより、各モード間にパワーの移動が生じる。特にモードが多数あり、何度ものモード間のパワーの移動を経て光ビームが伝搬していく場合、1つの入力光は幾つものモードに別れて広がっていく。このような場合、光ファイバーの軸方向の伝達関数のみが重要である。そこで、軸上同一の伝搬定数を持つモードは、1つのモード群として、統計的な解析を行うことが有効である。

【0027】また、1970年代には、不規則なファイバーバンドルを通すことで、スペックルのコントラストが低下することが示された（D. Kohler, W. L. Seitz, T. R. Loree and D. Gardne, "Speckle Reduction in pulsed-Laser Photographs", Opt. Comm., 12, 24-28, 1974）。

さらに、レーザー光源のコヒーレンス長以上に長さが異なる光ファイバーの束（光ファイバーバンドル）を用いてスペックルを低減させることが提案されている（特開平6-167640号公報、及び、本出願人によ

る特願平10-25646号（出願日平成10年2月6日）参照）。

【0028】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、スペックルのコントラストを低減させるためにファイバーバンドルの本数を増やしていくと、一本一本の長さの差（即ち、光路長差）が僅かであっても、最短の光ファイバーと最長の光ファイバーとの長さの差はかなり大きくなる。例えば、光源がシングルモードの半導体レーザーを用いる場合、その光源における典型的なコヒーレンス長は1m程度となってしまう。このような光路長差を生起させるには装置が大型化するので、現実的には困難である。

【0029】また、例えば、各光ファイバーに1cmずつの光路長差を付ける場合でも、これを100本バンドルし、その出射端と入射端とを揃えると、最短の光ファイバーと最長の光ファイバーとの長さの差は1mになる。これでは、取扱いが甚だ不便である。

【0030】さらに、光ファイバーが長くなれば、それだけ透過率が低下するので、光利用効率の観点からも光ファイバーの長さ（即ち光ファイバーバンドルにおける光路長差）は必要十分な長さに最短化されることが望ましい。

【0031】このように、現状では、簡便で安価かつ高性能なコヒーレント制御技術が十分でないため、各種レーザーを物体照明用の光源として利用することが困難であった。これがレーザーを用いた照明装置（例えばディスプレイ）などへの応用を阻んでいた。

【0032】特に、バンドルファイバー（光ファイバー束）を用いて前述の問題を解決しようとする場合、光ファイバーの長さが長くなって光ファイバー伝搬中の損失が大きくなること、一本一本の光ファイバーの長さが大きく異なるために取り扱いが不便なこと等が大きな障害となっていた。

【0033】そこで本発明者は、更に、出射光ビームのコヒーレンス長以上の光路長差を有する複数の多モード光ファイバーを用いたコヒーレンス低減方法を特願平10-132883号（出願日平成10年5月15日）により提案している。

【0034】しかしながら、これら先願の場合、入射コヒーレント光のコヒーレンスを十分に低減させることができるものの、入射光の結合効率に問題がある。即ち、図27に示す如く、入射光のビームスポット L_1 はバンドルファイバー束1A以上の径であるため、バンドルファイバー束1Aの外域17への照射光はロスとなるほか、光ファイバー2間のすき間18の照射光も無駄となっており、更に改善の余地があることが分かった。

【0035】本発明は、上記の事情に鑑みてなされたものであって、入射光を無駄なく光ファイバーに入射させ、しかも、入射したコヒーレント光のコヒーレンスを

10

20

30

40

50

低減して光量を低下させることなく出射させることのできる光源装置、照明方法及びその装置、並びに光学装置を提供することを目的とするものである。

【0036】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明は、コヒーレント光を複数の光ビームに分岐する光分岐手段と、この分岐手段によって分岐された光ビームを一端側から入射させ、他端側から出射させる、複数の多モード又はシングルモード光ファイバーとを有し、前記分岐された光ビームのそれぞれが、前記複数の光ファイバーのそれぞれに対応して入射するように構成した光源装置（以下、本発明の光源装置と称する。）に係るものである。

【0037】本発明の光源装置によれば、コヒーレント光を複数の光ビームに分岐し、この分岐された光ビームを、複数の光ファイバーの一端側から入射してその他端側へ出射させ、しかも、この分岐された光ビームのそれぞれがこの光ファイバーのそれぞれに対応して入射するので、入射光を高効率で各光ファイバーに入射させることができる。そして各光ファイバーの長さを互いに異ならせておけば、それぞれの光ファイバーの光路長差が、いずれの光ファイバーからの出射光ビームのコヒーレンス長よりも大きくなり、入射コヒーレント光のコヒーレンスを十分に低減させるために最低限必要な光路長差が生起される。その結果、必要最低限の長さの光ファイバーを具備して、光量が低下することなく、コヒーレンスが低減された光を出射する光源装置を得ることができる。

【0038】また、本発明は、コヒーレント光を複数の光ビームに分岐し、この分岐した光ビームを複数の多モード又はシングルモード光ファイバーの一端側から入射させ、他端側から出射する光を照明光として用い、前記分岐した光ビームのそれぞれを、前記複数の光ファイバーのそれぞれに対応して入射させる照明方法（以下、本発明の照明方法と称する。）に係るものである。

【0039】本発明の照明方法によれば、コヒーレント光を複数の光ビームに分岐し、この分岐された光ビームを、複数の光ファイバーの一端側から入射してその他端側から出射する光を照明光として用い、しかもこの分岐された光ビームのそれぞれがこの光ファイバーのそれぞれに対応して入射するので、高効率で入射した光によって光量の低下しない出射光が得られる。そして、各光ファイバーの長さを互いに異ならせておけば、光ファイバーの光路長差がその出射光ビームのコヒーレンス長よりも大きくなり、入射コヒーレント光のコヒーレンスを十分に低減させて最低限必要な光路長差が生起され、必要最低限の長さの光ファイバーを用いてコヒーレンスの低減した光ビームを照明用として有効に利用することができる。

【0040】また、本発明は、コヒーレント光を複数の光ビームに分岐する光分岐手段と、この分岐手段によ

て分岐された光ビームを一端側から入射させ、他端側から照明光として出射させる、複数の多モード又はシングルモード光ファイバーとを有し、前記分岐された光ビームのそれぞれが、前記複数の光ファイバーのそれぞれに対応して入射するように構成した照明装置（以下、本発明の照明装置と称する。）に係るものである。

【0041】本発明の照明装置によれば、上記した照明方法に基づく装置であるので再現性の良い照明装置を提供することができる。

【0042】また、本発明は、コヒーレント光を複数の光ビームに分岐する光分岐手段と、この分岐手段によって分岐された光ビームを一端側から入射させ、他端側から出射させる、複数の多モード又はシングルモード光ファイバーとを有し、前記分岐された光ビームのそれぞれが、前記複数の光ファイバーのそれぞれに対応して入射するように構成した光源装置と；この光源装置からの光を直接的又は間接的に入射させる光学素子と；を有する光学装置（以下、本発明の光学装置と称する。）に係るものである。

【0043】本発明の光学装置によれば、コヒーレント光を複数の光ビームに分岐し、この分岐された光ビームを複数の光ファイバーの一端側から入射し、しかも、この光ファイバーに入射する光ビームのそれぞれが、この光ファイバーのそれぞれに対応して入射するので、高効率で入射した光によってその他端側から光量の低下していない出射光が得られる。更に、各光ファイバーの長さを互いに異ならせておけば、光ファイバーの光路長差がその出射光ビームのコヒーレンス長よりも大きくなり、入射コヒーレント光のコヒーレンスを十分に低減させるために最低限必要な光路長差が生起される。その結果、光量は低下することなく、必要最低限の長さの光ファイバーを用いて、コヒーレントが低減された出射光を有する光源装置から出射する照明光が、直接的又は間接的に光学素子に入射され、良好な照明効果が得られる光学装置を提供することができる。

【0044】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好ましい実施の形態を図面を参照しながら説明するが、光ファイバーは、コヒーレント光の多モード分散によりスペckルを低減させ、光源としては効果的な多モード光ファイバー（単に、光ファイバーと称することがある。）を対象として説明する。

【0045】上記した本発明の光源装置、照明方法、照明装置及び光学装置においては、図1及び図2に示すように、光ビームの光ファイバーへの入射位置において、この光ファイバーの径と同等若しくはそれ以下のビーム径を有するように構成することが望ましい。

【0046】図1は、本実施の形態による光ファイバー群への光ビームの入射及びこの光ファイバーからの出射を示す概略図であり、(a)は入射端側、(b)は出射

端側を示すものである。

【 0 0 4 7 】 即ち、図 1 (a) に示すように、多モード発振するレーザー 1 5 からの出射光 L を回折型光学素子 1 6 により複数のビーム L_i に分岐し、それぞれの分岐光 L_i を 1 対 1 で夫々の光ファイバー 2 の一端側に入射させ、図 1 (b) に示すように、光ファイバー 2 がバンドル化された他端側から光源光 L として出射する。

【 0 0 4 8 】 この場合、図 2 に示すように、光ファイバー 2 へ入射させる分岐光 L_i のビームスポット 1 9 の径は、前記光ファイバーのコア径と同等若しくはそれより

も小さくすることが好ましい。

【 0 0 4 9 】 図 2 は、光ファイバー 2 の入射端におけるコア 6 に入射するビームスポット 1 9 の位置を模式的に示すものであり、(a) は図 1 (a) に示すように、光ファイバー 2 の入射端を例えば六角形に分散配置した場合、また図 2 (b) はこの入射端側がバンドルされている場合を示している。図示の如く、分岐光 L_i のビームスポット 1 9 の径は、光ファイバー 2 のコア 6 の径と同等以下であるのが好ましい。

【 0 0 5 0 】 このような光ビーム L_i への分岐方法としては、図 1 (a) に示すように回折型光学素子 1 6 を用いることにより、レーザー 1 5 から出射されたコヒーレントな出射光 L が回折型光学素子 1 6 で光ビーム L_i に分岐され、光ファイバー 2 の入射端側に入射させることができる。

【 0 0 5 1 】 本実施の形態に用いるレーザー 1 6 としては、固体・気体レーザー及び非線形光学効果を用いたこれらの波長変換や半導体レーザーなどが考えられる。しかし、スペckルの抑圧のためには、低コヒーレンスな光が望ましいので、多モード発振するものが望ましい。

【 0 0 5 2 】 また、回折型光学素子としてはバイナリーオブティックス又はホログラムなどとして構成されることが望ましい。即ち、半導体製造と同様にエッチングを用いて多段階の形状に作製されたバイナリーオブティックスや、フォトリソマーなどの記録材料を用いたホログラムを用いるのが好ましいが、通常の回折格子の方向を変えて重ね合わせることで多数のスポットを形成することができる。

【 0 0 5 3 】 また、これ以外にも光を分岐させる方法としては、近年、回折型光学素子を用いた任意のパターンのスポット生成光学素子が市販されるようになってきており、加工技術の進歩により 9 0 % 以上の効率を得られるものも入手できるようになっているのでこれらを適宜に用いることもできる。

【 0 0 5 4 】 このように、複数のビームを生成させる手段としては、従来、回折格子やビームスプリッターが用いられてきたが、これらは多数のビームを同時に作り出すことはできないので、多くのビームを同時に任意の配置で生成できる本実施の形態に用いた回折型光学素子はこの点で有利である。

【 0 0 5 5 】 光ファイバーとしては、多モード光ファイバー以外にシングルモードの光ファイバーが使用可能であり、石英などのガラスファイバーのみならず、近年進歩の目ざましいプラスチック光ファイバーを使うことができる。しかし、多モードプラスチック光ファイバーは可視光の透過率に優れている上、従来の光ファイバーのコア径が数 μm 程度しかないのに対し、直径 1 mm のコア径のファイバーが既に市販されている。そして、調整が容易で実用性に優れているのでこのような多モード光ファイバーを用いるのが好ましい。

【 0 0 5 6 】 本実施の形態における光ファイバー 2 の入射端面の配置は様々なパターンが考えられる。例えば図 3 (a) に示す矩形格子状、図 3 (b) に示す六角形、また、図 3 (c) に示す線状など、任意な配置を回折光学素子のパターンに合わせた形状に形成することもできる。

【 0 0 5 7 】 しかし、どのような形状であっても、光ファイバー 2 は自由に曲げることができるので、出射端は照明光学系として最適な形状を入射端とは独立に形成することができる。照明への応用や用途によっては特別なパターンが必要となることもあるので、この自由度は大きなメリットである。

【 0 0 5 8 】 そして、本実施の形態に用いる複数の光ファイバー 2 は、レーザー 1 5 から出射されるコヒーレント光のコヒーレンス長以上に長さが互いに異なることが望ましく、そのためには上記したように、複数の光ファイバーのいずれかを曲げることにより、これらの光ファイバーの長さを互いに異ならせることができる。多モード光ファイバーの場合はそれ自体でコヒーレンスを低減させることができるので必ずしも長さを異ならせなくてもよいが、上記のように長さを異ならせることによりコヒーレンス低減の効果を大きくすることができる。

【 0 0 5 9 】 更に、図 1 (a) に示すように、この複数の光ファイバー 2 の光入射位置を、各光ファイバー間で同一若しくはほぼ同一とすることが望ましく、少なくとも光出射位置及び／又は光入射位置で束ねられていることが望ましい。

【 0 0 6 0 】 しかし、これは必ずしも束ねなくてもよい。例えば微量な光量でよい場合などには、分岐光 L_i が入射した 1 本の多モード光ファイバー 2 からの出射光で足りることも考えられる。このように用途に応じて束ねなくてもよく、束ねてもよく、束ねる場合には束ねる本数も適宜であってよいが、このような特殊な用途を除いて多くの場合、光学系での損失を少なくしようとする、レンズなどの光学部品を光源に対して大型化することが必要になるので、ファイバーの出射端をまとめれば、装置を小型化できるので全体の光学系も小型化することができる。

【 0 0 6 1 】 また、本実施の形態におけるコヒーレント光は可視域のレーザー光であることが望ましく、この場

合、光源は可視域のレーザー光を出射する各種レーザーであってよい。

【0062】これにより、表示装置（ディスプレイ）や計測装置、顕微鏡等の可視域の光ビームを、照明光とする照明装置及びこのような光源装置を光源とする光学装置を実現できる。

【0063】或いは、光ファイバーとして中空多モード光ファイバーを用い、かつ、前記コヒーレント光を紫外域のレーザー光としてもよく（即ち、紫外域のレーザー光を出射するレーザーが用いられていてよく）、これによって、紫外域の光ビームを照明光とする照明装置及びこのような光源装置を光源とする、例えば、計測装置、顕微鏡、露光装置等の光学装置を実現できる。

【0064】上述した如く、本実施の形態における多モード光ファイバーのそれぞれの長さは、出射端での相互のコヒーレンスが十分失われるだけの差が与えられたものを用い、図1に示すように、ファイバーの出射端をバンドル化して、その出射光を用いて照明光学系を構成すれば、相関のない光の重畳によりスペックルを抑圧することができる。

【0065】即ち、図4に示すように、バンドル化した多モード光ファイバー2の出射端4からの出射光はコンデンサーレンズ39によって投影する物体24に集光され、更にこの光が投影レンズ40を介してスクリーン26に投影されたスペックルのない像を観察者28は観察することができる。

【0066】また、本実施の形態は、図1及び図2に示

$$\left\{ \begin{array}{l} 1\text{mm} > (0.5\mu\text{m} \times f) / a \rightarrow a/f > 1/2000 \\ \therefore 0.3 / (1+m/a) > 1/2000 \\ 0.3 > a/f (1+m/a) \rightarrow 0.3 / (1+m/a) > a/f \\ 599 > m/a \end{array} \right.$$

となる。

【0071】回折型光学素子の直径 $2a = 2\text{mm}$ 、分岐光スポットまでの距離を $f = 100\text{mm}$ とし、 1mm 間隔で 10×10 のスポットアレイを形成するとすれば

($m = 5$) となり、上記のカップリング条件は簡単に満たすことができる。従って本実施の形態の光学系は容易に実現することができる。

【0072】そして、本実施の形態による照明装置を用いて、レーザーディスプレイ、レーザーを用いた顕微鏡、計測装置、露光装置などが実現され、高効率でスペックルを除去した単色性に優れた照明光学系を得ることができる。

【0073】しかし、本実施の形態における光ファイバーバンドルの長さ、及び、これを構成する各光ファイバーの長さの差を決定するためには、光ファイバーから出射される光ビームの時間コヒーレンスを求める必要がある。

【0074】特に、多モード光ファイバーのモード分散が多モードレーザー光のコヒーレンス長と比較して同程

したように、回折型光学素子16によって分岐された光ビームスポット19が、入射する多モード光ファイバー2のコア径よりも小さければ、入射端面での反射ロス以外の光はファイバー中に入射する。しかし、大きな入射角で入射した光はファイバー中の伝播モードとはなり得ず、損失となる。従って、各光ファイバーへの入射光は多モード光ファイバーのNA（開口数）以下の入射角で入射させることが必要である。

【0067】従って、図5に示すように、レーザーからの出射光ビームLの直径を $2a$ 、分岐光スポットまでの距離を f として配置した場合の回折型光学素子の作る分岐光スポット径はおおよそ、 $\lambda / \text{NA} = \lambda f / a$ (λ : 波長) である。そこで例えば、光ファイバー2の直径を $2A$ とすれば、 $2A > \lambda f / a$ でなければならない。

【0068】また、最も外側の光ファイバーの中心から光軸 c までの距離を x 、光ファイバーのNAを NA_{fiber} とすれば、カップリングのためには、 $\text{NA}_{\text{fiber}} > (a + x) / f$ でなければならない。

【0069】現在市販されているプラスチック光ファイバーの NA_{fiber} は最大で0.8程度のもので存在するが、出射光の取扱いを考えれば、使い易いのは0.3程度である。また、コア径は典型的には 1mm ($A = 0.5\text{mm}$) 程度である。

【0070】そこで、例えば、 $2\text{m本} \times 2\text{m本}$ のファイバーを矩形に並べたとすれば、 $x = m \times 1$ (nm) である。従って、波長 $0.5\mu\text{m}$ の光に対して、

度の場合、光ファイバーの長さの差がコヒーレンス長程度でよいかどうかは自明ではない。そこで、多モード光ファイバーのインパルス応答理論を用いて、光ファイバーから出射される光ビームの時間コヒーレンス長を求める必要がある。

【0075】上述したように、Gloge は、多モード弱結合光ファイバーの半径方向のモードを無視し、パワーの時間軸上の伝搬のみに注目した解析を行って、多モード光ファイバーのインパルス応答を求めた (D.Gloge, Bell Syst. Tech. Jour., 52, 6, 801-816 (1973), D.Gloge, Bell Syst. Tech. Jour., 51, 8, 1767-1783 (1972)、大越、岡本、保立、「光ファイバー」、9章、オーム社 (1983) 参照)。

【0076】即ち、多モード光ファイバーを伝搬する光ファイバーのモード間が弱結合している場合、伝搬中の屈折率のゆらぎや光ファイバーの曲げなどにより、モード間にパワーの移動が生じる。モードが多数あり、何度のモード間のパワーの移動を経て多モード光ビームが移動していく場合、1つの入力光ビームは幾つものモー

ドに別れて広がっていく。このような場合、光ファイバーの軸方向の伝達関数のみが重要になる。

【0077】そこで、光ファイバーの光軸上で同一の伝搬定数を持つモードを1つのモード群として統計的な解析を行うことが有効である。ここでは、上述した Gloge のインパルス応答の解析結果を用いて、多モード光ファイバー中のコヒーレンス伝搬を解析する。

$$Q(z, t) = \Theta^2 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{T \cdot t}} \cdot \frac{\text{Exp}[-\frac{\gamma_{\infty}^2 z^2 T}{4 \cdot t} - \frac{t}{T}]}{\frac{1}{\gamma_{\infty} z} \cdot \frac{t}{T} + \frac{1}{2}} \quad \dots \text{式A}$$

但し、式Aにおいて、光ファイバーコアの半径を a 、光ビームの波長を λ 、コアの屈折率を n_1 、モード減衰定数の係数を A 、パワー結合定数を d_0 とすれば、前記の式Aにおける γ_{∞} 、 Θ_{∞} 及び T は、それぞれ次のように表される。

【数2】

$$\gamma_{\infty} = \frac{\lambda}{2an_1} \sqrt{A \cdot d_0}$$

$$\Theta_{\infty} = \sqrt[4]{\frac{d_0}{A} \cdot \left(\frac{\lambda}{2an_1}\right)^2} \cong \Theta_0$$

$$T = \frac{n_1}{2 \cdot c \cdot A}$$

$$\begin{aligned} \langle u(t_1) \cdot u^*(t_1 + t') \rangle &= \langle \iint \sqrt{Q(z, t_1)} \cdot \sqrt{Q(z, t_1 + t')} \cdot dt_1 \cdot dt' \rangle \\ &= \iint \gamma(t) \cdot \sqrt{Q(z, t_1) \cdot Q(z, t_1 + t')} \cdot dt_1 \cdot dt' \end{aligned}$$

【0081】ここで、この式を用いて、光ファイバー長 L が 1m、5m、10m、100m で、入射光ビームのコヒーレント長 L_c が 0.7mm (図9)、7mm (図8)、70mm (図7) の場合について、時間コヒーレンスを測定した。ここでは、インパルスレスポンスの測定データ (Mitsuboshi MH4001, NA=0.3, 50m, SI) によってフィッティングを行い、

$$\gamma_{\infty} = 0.045 \text{ (1/m)}$$

$$T = 0.45 \text{ ns}$$

$$\Theta_{\infty} = 8.1 \times 10^{-3}$$

とした。その測定結果を図6～図9に示す。

【0082】図7、図8及び図9から、光ファイバー出射後の光ビームのコヒーレンス長は、光ファイバー入射前の光ビームのコヒーレンス長 (図中実線) に比べて、6割程度に落ちていることが分かる。

【0083】また、ここで興味深いのは、光ファイバー長が長くなるにつれて、光ビームのコヒーレント長が若干伸びていることである。これは、特に、入射光ビームのコヒーレンス長が長い例 (図7参照) で顕著であり、多モード光ファイバーの多モード分散による平均化の効果によるものである。

【0084】さらに、図6から、インパルスレスポンス (インパルス応答) は、光ファイバーの長さが長くなる

【0078】まず、十分長い多モード光ファイバーのパワーインパルスレスポンス $Q(z, t)$ は、次式Aで与えられる。なお、下記式Aは、多モード光ファイバーの入射端から距離 z にある一点での時刻 t におけるインパルスレスポンスを示すものである。

【数1】

【0079】このインパルスレスポンス $Q(z, t)$ によれば、光ファイバー出射端の振幅 $u(t)$ は、

【数3】

$$u(t) = \int_0^{\infty} \sqrt{Q(z, t+t')} dt'$$

で表される。

【0080】即ち、前述の各式を用いれば、出射光ビームの時間コヒーレンス関数は、入射光ビームの時間コヒーレンス関数を γ として、下式のように求められる。但し、下式は、時刻 t_1 と時刻 $t_1 + t'$ とにおける時間コヒーレンスを示すものである。

【数4】

につれて、非対称形から対称なガウシアン分布に近づきながらパルス幅が広がっていき、カットオフは変わらないものの、パルスの前後で相関性が上昇するものと思われる。

【0085】いずれにせよ、光ファイバーの長さは必要十分な長さであればよいので、実用上は数m程度であることが望ましい。必要以上に長い光ファイバーは重量及び容積的に不経済であるばかりでなく、伝搬中の光ビームの損失が増加する傾向にある。

【0086】また、半導体レーザーによるレーザー光や、多モード固体レーザーによるレーザー光、さらには、その非線形光学効果を利用した波長変換によるレーザー光は、数mmから数十mm程度のコヒーレント長に設計できる。

【0087】従って、実用的な設計範囲においては、上記の測定結果から、出射光ビームのコヒーレント長は入射光ビームのコヒーレント長の6割程度になることが分かり、各光ファイバーからの出射光ビームのコヒーレンス長以上、若しくは、光源から出射された光ビームのコヒーレント長の6割以上の光路長差をつけた多モード光ファイバーをバンドルすることによって、十分にコヒーレンスを低減させることができる。

【0088】即ち、光源から出射される光ビームのコヒ

ーレント長を L_c 、コア屈折率 n_{core} を有する n 番目の多モード光ファイバーの長さを L_n とすると、
 $L_{n+1} - L_n \geq (0.6 \cdot L_c) / n_{core} \dots \text{式1}$
 かつ、 $L_{n+1} - L_n > 0 \dots \text{式2}$

を満たす、長さ L_n （但し、 n は1、2、 \dots 、 m ）の m 本の多モード光ファイバーをバンドルすることによって、十分にコヒーレンスを低減させることができる。このように、本発明においては、

（光路長差） \geq （出射光ビームの L_c の6割）／（屈折率）

が成り立つことが望ましい。

【0089】なお、光路長に差をつけるための手段としては、上述の如き長さを変えた光ファイバーのバンドルを用いるのが最も簡便であるが、前述のプリズム（図23参照）やフライアイレンズ（図22参照）などの手段を用いる場合にも、その光路長差を上述した作用に基づいて決定してもよい。また、この多モード光ファイバーは、ステップインデックス型の光ファイバーであってもよいし、グレーテッドインデックス型の光ファイバーであってもよい。特に、ステップインデックス型のプラスチック光ファイバー（POF）が望ましい。

【0090】以下、本発明に基づいて更に有効な実施の形態を説明する。

【0091】図10に示すように、各光ファイバーの出射光ビームのコヒーレント長以上に長さが異なる複数の多モード光ファイバー2a、2b、2c、2d \dots の入射端（入射側ファイバーバンドル部）3と出射端（出射側ファイバーバンドル部）4とをすべて揃え、これを束ねることによって、出射光ビームのコヒーレンス長以上に長さの互いに異なる複数の多モード光ファイバーからなる多モード光ファイバーバンドル1を構成することもできる。

【0092】特に、その入射端3及び出射端4での束ね方は、図10（b）に示すように、できるだけ密であることが、出射される（又は入射される）レーザー光の結合（カップリング）効率の点から望ましい。

【0093】また、各多モード光ファイバー2a、2b、2c、2d \dots は、屈折率の大きなコア5と比較的屈折率の小さなクラッド6とからなる2重構造を有しており、かつ、バンドル光ファイバー1において一本一本長さが異なっている。この長さの差、即ち光路長差は、それぞれの出射光ビームのコヒーレンス長以上に長さの差を有していればよい。

【0094】このように長さの異なる複数の多モード光ファイバーをバンドルする方法としては、図10及び図11に示すように、各光ファイバーのいずれかを他のファイバーよりも、出射光ビームのコヒーレンス長以上の長さ分だけ長くなるように曲線状に折り返してよく、この折り返し部14を設けても、多モード光ファイバーバンドル1の入射端3と出射端4は各ファイバー間で共通

若しくは同一位置となっている。このように、多モード光ファイバー2a、2b、2c、2d \dots を用いるために、折り返し等により周囲空間を有効に利用して上記した長さの差を簡易かつコンパクトに実現することができる。

【0095】従って、図10に示した多モード光ファイバーバンドル1において、複数の多モード光ファイバー2a、2b、2c、2d \dots がバンドルされた入射側ファイバーバンドル部3に入射するコヒーレント光 α は、多モード光ファイバーバンドル1を介して、コヒーレンスが十分に低減された光ビームとして出射される。

【0096】即ち、入射側ファイバーバンドル部3に入射したコヒーレント光（特にレーザー光） α は、各多モード光ファイバー2a、2b、2c、2d \dots に同一若しくはほぼ同一の強度をもって入射し、それぞれの多モード光ファイバー中で、モード分散により時間的コヒーレンス、空間的コヒーレンスが低減された光ビーム（a）、（b）、（c）、（d） \dots として出射される。

【0097】この、図10に示した多モード光ファイバーバンドル1を用いて図12に示すような表示装置（レーザーディスプレイ）とすることもできる。

【0098】図12に示した表示装置は、レーザー共振器7を出射したレーザー光がレンズ8に入射し、そして、レンズ8によって集光されたレーザー光は、多モード光ファイバーバンドル1の入射端3に入射する。

【0099】そして、多モード光ファイバーバンドル1及び多モード光ファイバー9を介して出射されたレーザー光は、レンズ10を介して、例えば透過型の液晶表示素子からなる空間光変調器（透過型ライトバルブ）11を照明する。この場合、多モード光ファイバー9は、シングルモード光ファイバーを束ねたものであってもよいし、或いは、出射端4において多モード光ファイバーバンドル1とカップリングされた他の光ファイバーであってもよい。

【0100】そして、レンズ10からの高強度の照明光によって、空間光変調器11による像が投影レンズ12を介してスクリーン13に、高輝度、高精細かつコントラスト良く投影される。このように、空間光変調器11を照明する照明光は、コヒーレンスが低減されているので、スクリーン若しくはこれを観察する観察者の網膜のいずれにおいてもスペックルが低減されている。

【0101】また、図13に示すように、表示装置等を用いる三原色の照明光を得る目的で、赤色波長領域のレーザー光を発振可能な半導体レーザーと、緑色波長領域のレーザー光を発振可能な半導体レーザーと、青色波長領域のレーザー光を発振可能な半導体レーザーとを用いた照明用光ビームの光源として構成することもできる。

【0102】即ち、図13に示すように、赤色（R）発振の半導体レーザー41a、緑色（G）発振の半導体レ

10

20

30

40

50

ーザー 4 1 b 及び青色 (B) 発振の半導体レーザー 4 1 c のそれぞれの半導体レーザーから出射されたレーザー光を、レンズ 4 2 a、4 2 b 及び 4 2 c を介して、出射端側を分岐した多モードバンドル光ファイバー 4 3 a、4 3 b 及び 4 3 c に導き、各色のレーザー光を多モードバンドル光ファイバーでカップリングすることができる。

【0 1 0 3】図 1 4 に示すように、大きな強度の照明光を得る目的で、赤色半導体レーザー 4 1 a、4 1 b 及び 4 1 c からの赤色レーザー光をレンズ 4 2 を介して、多モードバンドル光ファイバー 4 3 a、4 3 b 及び 4 3 c にそれぞれ導き、これらの多モードバンドル光ファイバーをさらにカップリングすることによって、ファイバー束 4 4 a にてより大きな強度の赤色レーザー光を伝搬させることができる。同様に、緑色レーザー光、青色レーザー光を伝搬することもできる。

【0 1 0 4】そして、赤色レーザー光を伝搬する多モード光ファイバー 4 4 a と、緑色レーザー光を伝搬する多モード光ファイバー 4 4 b と、青色レーザー光を伝搬する多モード光ファイバー 4 4 c とをさらにバンドル化した多モード光ファイバー 4 5 にて、より強度の大きな三原色のレーザー光を伝搬させることができる。勿論、各色を発振する半導体レーザーの数は 3 つに限定されるものではなく、任意の複数個を使用できる。

【0 1 0 5】図 1 5 に示すように、P 偏光を発振する半導体レーザー 1 3 2 a、S 偏光を発振する半導体レーザー 1 3 2 b、レンズ 1 3 3 a、1 3 3 b、ミラー 1 3 4 及び偏光ビームスプリッター 1 3 5 からなるレーザーカプラーユニット 1 3 1、及び、レンズ 1 3 6 を用いて、P 偏光のレーザー光と S 偏光のレーザー光とを多モードバンドル光ファイバー 1 3 7 に合波せしめ、偏光状態の異なるレーザー光を利用してこのように、偏光ビームスプリッターを使うことで、効率良く高強度のレーザー光を導くことができる。

【0 1 0 6】また、図 1 6 は、基本的には図 1 4 と同様に、偏光状態の異なるレーザー光を利用した照明装置であり、赤色 (R) レーザー光を発振可能なレーザーカプラーユニット 1 3 1 a から出射される赤色レーザー光を、レンズ 1 3 6 a を介して多モードバンドル光ファイバー 1 3 7 a に合波せしめ、同様に、緑色 (G) レーザー光を発振可能なレーザーカプラーユニット 1 3 1 b から出射される緑色レーザー光、青色 (B) レーザー光を発振可能なレーザーカプラーユニット 1 3 1 c から出射される青色レーザー光をそれぞれ、レンズ 1 3 6 b 及び 1 3 6 c を介して、多モードバンドル光ファイバー 1 3 7 b 及び 1 3 7 c に入射させ、各多モードバンドル光ファイバーを束ねることもできる。

【0 1 0 7】ところで、図 1 3 ～図 1 6 に示した実施の形態は、異なる発振波長域を有する半導体レーザーからの出射光を一つの多モードバンドル光ファイバーに導く

例を示したが、この他、三原色の光を提供するには、いくつかの手法が考えられる。

【0 1 0 8】まず第 1 に、光源の変調である。即ち、各色のレーザー光を周期的に発振させ、その周期毎に空間変調器によって空間的な色分解 (変調) を行うことで、カラー像が得られる。

【0 1 0 9】第 2 には、色フィルターを用いた空間変調である。即ち、各色空間変調器がピクセルごとに特定の色のみを通すフィルターを有していれば、これによって空間的な変調器によるカラー像が得られる。また、三原色の合成は、下記第 4 の実施の形態に示すように、空間変調器の部分で行うこともできる。

【0 1 1 0】また、例えば、反射型液晶表示素子等の反射型空間変調器を用い、この空間変調器の部分で三原色の合成 (図示省略) を行った後、本実施の形態に基づく多モードバンドルファイバーに導く表示装置として構成することもできる。

【0 1 1 1】また、図 1 7 に示すように、上述の手法を用いて、反射型空間変調器 1 4 0 とビームスプリッター 1 4 1 とからなるユニット 1 4 2 に図示省略した多モード光ファイバーバンドルを介して照明光を照射することによって、三原色を一つの空間変調器 (ユニット) で変調できる。ここで、ビームスプリッター 1 4 1 を偏光ビームスプリッターに置き換え、空間変調器自体若しくはその光路上に波長板を配置して、変調効率を高めることもできる。

【0 1 1 2】また、図 1 8 に示すように、図 1 7 に示したユニットを各色ごとに用いて、すなわち、図示省略した多モード光ファイバーバンドルを介した照明光を、赤色空間変調器ユニット 1 4 2 a、緑色空間変調器ユニット 1 4 2 b 及び青色空間変調器ユニット 1 4 2 c に導き、空間変調後に、ダイクロイックミラー 1 4 3 を用いて合波することもできる。

【0 1 1 3】上記した図 1 3 ～図 1 8 の実施の形態は、反射型の空間変調器について述べたが、透過形の空間変調器 (例えば透過型液晶表示素子) についても同様に構成することができる。

【0 1 1 4】また、図 1 9 に示すように計測装置に適用し、多モードバンドル光ファイバー 1 4 5 からの照明光 a を、被計測面 1 4 7 を有する計測対象 1 4 6 に投射し、被計測面 1 4 7 にて反射された光ビーム b を観察光学系 1 4 8 を介して受光器 1 4 9 で検出すれば、例えば、その表面性 (表面粗度等) を計測できる。

【0 1 1 5】更に、計測対象物体が有する透過率や反射率等の分光特性に特徴があれば、それに適切な波長の光を使うことが有効である。例えば、FA (ファクトリーオートメーション) における選別機械などで特定の色を有する物体を認識するためには、特定の波長を有するレーザー光を照射し、その他の色の物体との反射率が異なることで、その認識が容易になる。また、はんだ検査器

においては、基板の反射率から緑色波長領域の照明光が最も有効だが、これも緑色波長帯域の半導体レーザーを使うことによって実現でき、さらに、この方法を用いれば、その検査における精度が一層向上する。

【0116】即ち、これらの検査工程において、スペックルはノイズ要因となるので、本発明に基づく多モード光ファイバーを用いることで、精度の向上が図られる。また、観察光学系148に、特定の波長フィルターを加えれば、外乱光からの影響を受けず、さらなる精度の向上が可能となる。

【0117】また、図20に示すように露光装置や顕微鏡等の光学機器に適用し、多モードバンドル光ファイバー151からの出射光ビームをコンデンサーレンズ152を介して、被照明物体153に対してケーラー照明、若しくは、クリティカル照明し、対物レンズ154を用いて、照明された被照明物体153の像155を結像することもできる。ここで像面を観察すれば、顕微鏡となり、また、被照明物体153の像をレジストやフィルム等に露光（または記録）すれば露光装置となる。なお、図中矢印に示すように、対物レンズ154は適宜移動させることができる。

【0118】ここで、上述した計測装置の場合と同様に、被照明物体が有する透過率や反射率等の分光特性に特徴があれば、それに適切な波長の光を使うことが有効である。例えば、被露光材料となるレジストやフィルムが特定の波長に対して感度が高ければ、その波長で露光することが有効である。これは、特定の発振波長帯域を有する波長幅の狭いレーザーを用いれば可能となり、また、本実施の形態に基づく手法で、そのレーザー光を低コヒーレント化し、スペックルを除くことで、コントラ

ストに優れた露光処理を実現できる。

【0119】一例として、映画フィルムへのデジタル音声トラックの記録には、緑色波長帯域の光ビームを用いることが有効だが、上記した手法を用いれば、これが簡単に実現できる。また、他の例としては、中空の導波路を多モード光ファイバーに置き換え、エキシマレーザーや、固体レーザーの高調波などの紫外レーザー光を用いた露光装置が考えられる。これはスペックルを抑圧できるのみならず、照度分布でも均一化できるので、装置が安価かつ簡便で性能の優れたものになる。

【0120】また、顕微鏡を構成する場合、単一波長でスペックルのない顕微鏡を実現できるので、サンプルによる反射率もしくは透過率の特性を利用して、分光もしくは蛍光顕微鏡を構成できる。これは医用や生体用のみならず、半導体などのプロセス検査など幅広い応用が考えられる。

【0121】また、上記した計測装置以外の計測装置の例としては、近年注目が集まっている低コヒーレント干渉計などの干渉計用途にも適用することができる。

【0122】即ち、図21に示すように、多モードバン

ドル光ファイバー160からの光ビームをコリメーターレンズ161で平行光にしてビームスプリッター162でその波面を分割する。一方の光ビーム（透過光）は、参照鏡163（ビームスプリッターからの距離がL）に向かい、他方の光ビーム（反射光）は被験側へ向かう。

【0123】ここで、多モードバンドル光ファイバーの出射光のコヒーレンス長がa以下である場合、被験側のミラーが、ビームスプリッターからの距離がD-aの位置にあるミラー164b、若しくは、ビームスプリッターからの距離がD+aの位置にあるミラー164cときは干渉縞がほとんど生じない。これに対して、ミラー164aのように、ミラーがビームスプリッターからの距離がDの位置にあるときだけ干渉縞（スペックルパターン）が生じる。

【0124】ここで、ミラー164a、164b及び164cの代わりに、図21（b）に示す如き三次元形状を持つサンプル166、或いは、図21（c）に示す如き生体サンプル167を置き、これからの反射光を干渉光として観察すれば、各サンプルの三次元形状を輪切りにした状態で観察することができる。また、この干渉縞のコントラストを計測することで、測長器として利用することもできる。

【0125】上述した実施の形態はこれに限定されるものではなく、本発明の技術的思想に基づいて更に変形させることが可能である。

【0126】例えば、上述したそれぞれの実施の形態の構造や構成及び形態等も実施の形態以外に適宜に実施することができる。使用する光ファイバーは、多モード以外に、シングルモードのものでも適用可能であり、上述と同様の効果が得られる。

【0127】また、本発明の光源装置の用途は上述した実施の形態以外の各種の用途に適用することができる。

【0128】上述した本実施の形態によれば、光源のレーザー光が複数の光ビームに分岐され、それぞれの光ビームが複数の多モード光ファイバーのそれぞれに一对一で入射し、しかもこの光ビームのビームスポット径が多モード光ファイバーのコア径と同等若しくはそれ以下となっているので、多モード光Sファイバーへ入射するレーザー光の結合効率を高めることができる。

【0129】更に、この光ビームが入射する複数の多モード光ファイバーの長さがそれぞれ異なるため、その光路長差が入射するコヒーレント光のコヒーレンスより大きくなり、入射するコヒーレント光のコヒーレンスを十分に低減させるための最低限必要な光路長差が生じられ、必要最低限の長さの多モード光ファイバーを用い、コヒーレンスが低減された光ビームを光源として各種の照明用に適用することができる。

【0130】従って、コヒーレンスの低減によってスペックルが抑圧されるため、この多モード光ファイバーからの出射光を照明の光源とする各種の光学装置におい

て、観察時や測定時のノイズが著しく低減され、測定性能や測定精度を向上させることができる。

【0131】その結果、ディスプレイ、計測装置、顕微鏡、露光装置などの光学装置を、光電変換効率の高いレーザーを用いて構成することができ、これによって、これらの光学装置の高性能化と共に、小型化、低コスト化を図ることができる。

【0132】

【発明の作用効果】上述した如く、本発明は、コヒーレント光を複数の光ビームに分岐する分岐手段と、この分岐手段によって分岐された光ビームを一端側から入射させ、他端側から出射させる、複数の光ファイバーとを有し、前記分岐された光ビームのそれぞれが、前記複数の光ファイバーのそれぞれに対応して入射するので、コヒーレント光が高効率で光ファイバーに入射すると共に、入射コヒーレント光のコヒーレンスを低減させて出射することができる。また、各光ファイバーの長さを互いに異ならせておけば、それぞれの光ファイバーの光路長差がいずれの光ファイバーからの出射光ビームのコヒーレンス長よりも大きくなり、入射コヒーレント光のコヒーレンスを十分に低減させるために最低限必要な光路長差が生起される。その結果、必要最低限の長さの多モード光ファイバーを具備し、光量は低下することなく、コヒーレンスが低減した光を出射する光源装置を得ることができる。

【0133】そして、この出射光を照明方法に用いれば、コヒーレンスの低減した光ビームを有効に利用した照明装置が提供され、また、上記の光源装置からの出射光を直接的又は間接的に入射させる光学素子に用いれば、ノイズが著しく低減された高性能で高精度な光学装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態による光源装置の概略図を示し、(a)は入射端側、(b)は出射端側である。

【図2】同、入射端側の多モード光ファイバーの入射端面及びビームスポットを示す模式図であり、(a)は入射端面を六角形を六角形に配置した場合、(b)は入射端面をバンドルした場合である。

【図3】同、ビームスポットの配置パターンを示し、(a)は矩形、(b)は六角形、(c)は線状のパターンである。

【図4】同、光源装置を用いた光学系を示す概略図である。

【図5】同、光源装置における入射条件を示す原理図である。

【図6】同、作用を説明するためのインパルス応答（インパルスレスポンス）を示すグラフである。

【図7】同、作用を説明するための光ファイバー出射後の時間コヒーレンスの変化を示すグラフである（入射光ビームのコヒーレンス長：70.0mmの場合）。

【図8】同、作用を説明するための光ファイバー出射後の時間コヒーレンスの変化を示す他のグラフである（入射光ビームのコヒーレンス長：7.0mmの場合）。

【図9】同、作用を説明するための光ファイバー出射後の時間コヒーレンスの変化を示す他のグラフである（入射光ビームのコヒーレンス長：0.70mmの場合）。

【図10】同、他の実施の形態に使用できるバンドルファイバーの概略模式図である。

【図11】同、他の実施の形態による照明装置を示す概略構成図である。

【図12】同、他の実施の形態を示す概略模式図である。

【図13】同、他の実施の形態を示す概略模式図である。

【図14】同、他の実施の形態を示す他の概略模式図である。

【図15】同、他の実施の形態を示す概略模式図である。

【図16】同、他の実施の形態を示す他の概略模式図である。

【図17】同、他の実施の形態を示す概略模式図である。

【図18】同、他の実施の形態を示す他の概略模式図である。

【図19】同、他の実施の形態を示す概略模式図である。

【図20】同、他の実施の形態を示す概略模式図である。

【図21】同、更に他の実施の形態を示す概略模式図である。

【図22】従来例によるフライアイレンズを用いた照明装置の一部概略模式図である。

【図23】同、プリズムを用いた照明装置の一部概略模式図である。

【図24】コヒーレンス制御の必要性を説明するための概略模式図である。

【図25】同、他の概略模式図である。

【図26】光ファイバー中のモード分散によるコヒーレンス低下の原理を示す概略模式図である。

【図27】先願における入射端側の多モード光ファイバーバンドル端面と入射光との関係を示す概略図である。

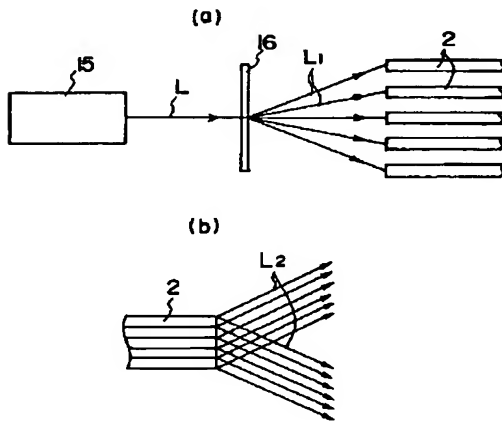
【符号の説明】

1…多モード光ファイバーバンドル、2a、2b、2c、2d、9…多モード光ファイバー、3…入射端、4、38…出射端、5…クラッド、6…コア、7…レーザー発振器、8、10、12、42、133、136…レンズ、11…空間光変調器、13…スクリーン、14…折り返し部、15…レーザー、16…回折型光学素子、19…ビームスポット、39、152…コンデンサーレンズ、40、155…投影レンズ、41、132…

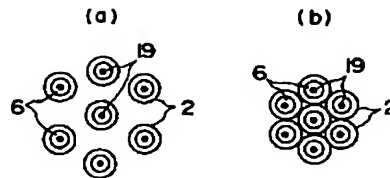
半導体レーザー、43、137、145、151、160…バンドル光ファイバー、44…ファイバー束、131…レーザーカプラーユニット、134、164…ミラー、135、141、162…偏光ビームスプリッター、138…結合器、142…空間変調ユニット、143…ダイクロイックミラー、146…計測対象、148

…観察光学系、149…受光器、153…被照明物体、161…コリメーターレンズ、163…参照鏡、165…観察面、166…三次元形状を有するサンプル、167…生体サンプル、L…出射光、L₁…分岐光（光ビーム）L₂…光源光

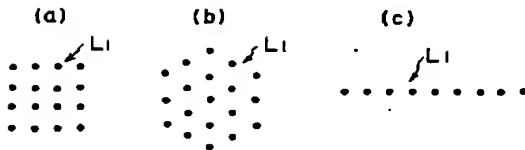
【図1】



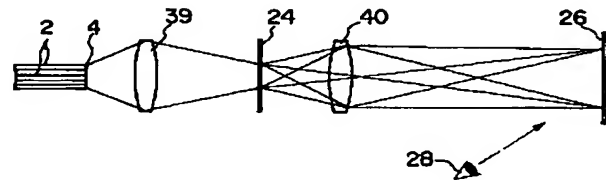
【図2】



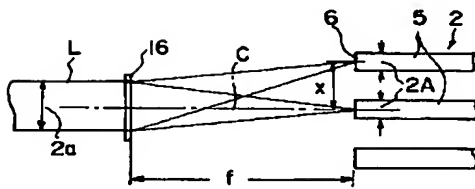
【図3】



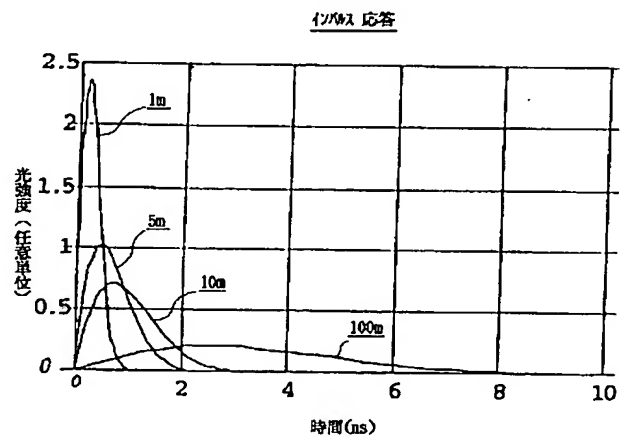
【図4】



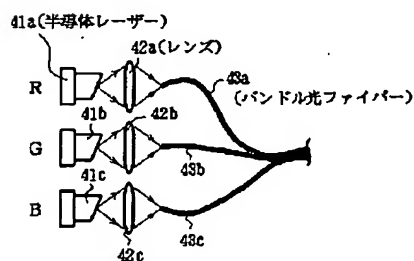
【図5】



【図6】

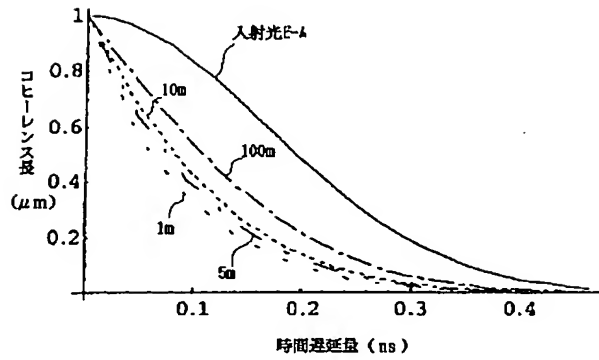


【図13】



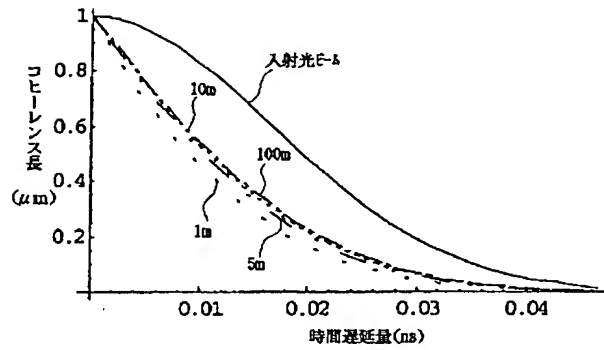
【図 7】

ファイバー 出射後の時間コヒーレンス
(入射光ビームのコヒーレンス長 $L_c=70\text{mm}$)



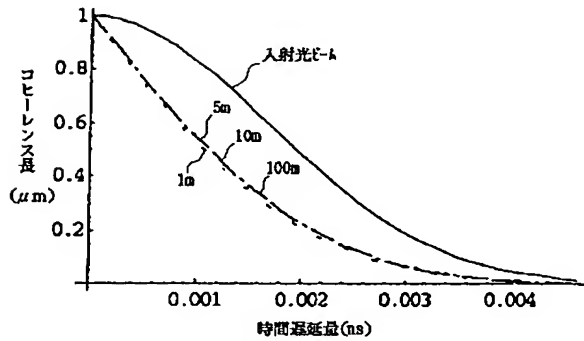
【図 8】

ファイバー 出射後の時間コヒーレンス
(入射光ビームのコヒーレンス長 $L_c=7\text{mm}$)

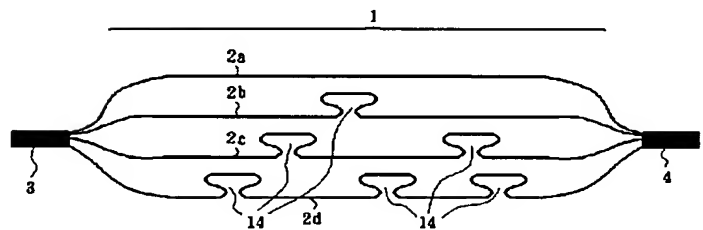


【図 9】

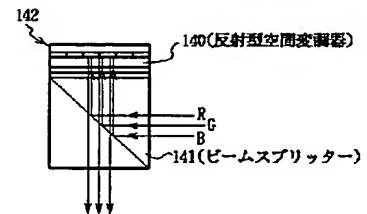
ファイバー 出射後の時間コヒーレンス
(入射光ビームのコヒーレンス長 $L_c=0.7\text{mm}$)



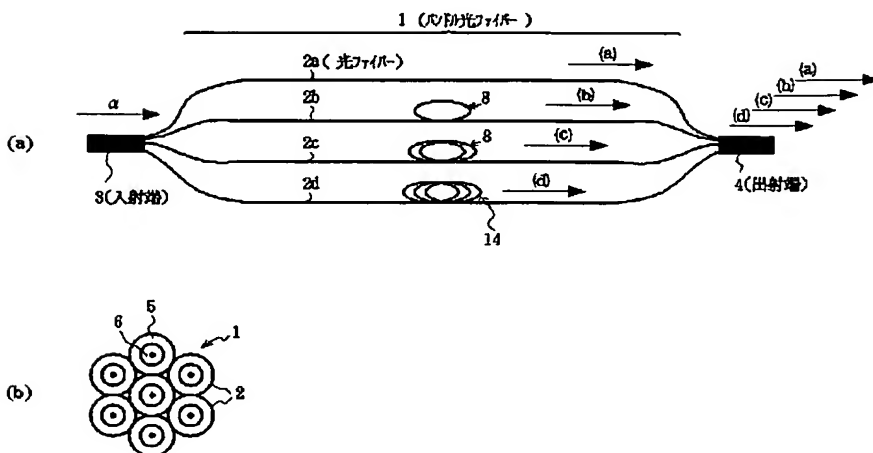
【図 11】



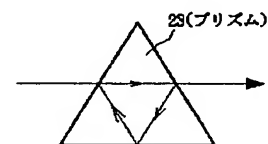
【図 17】



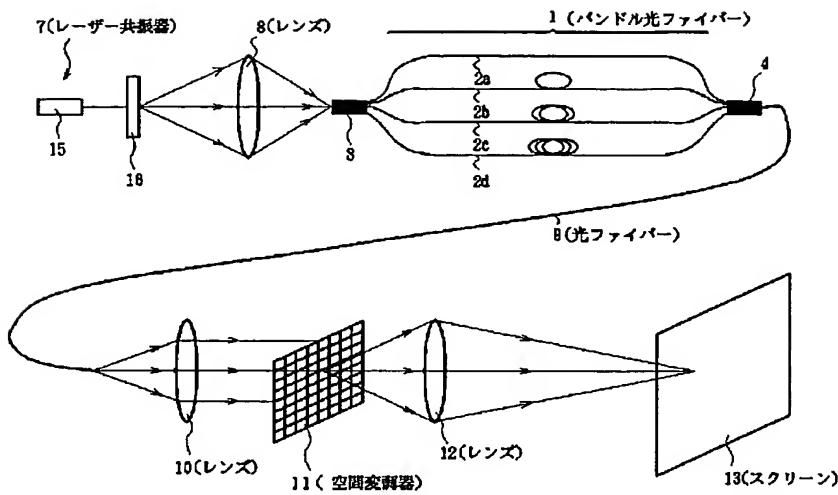
【図 10】



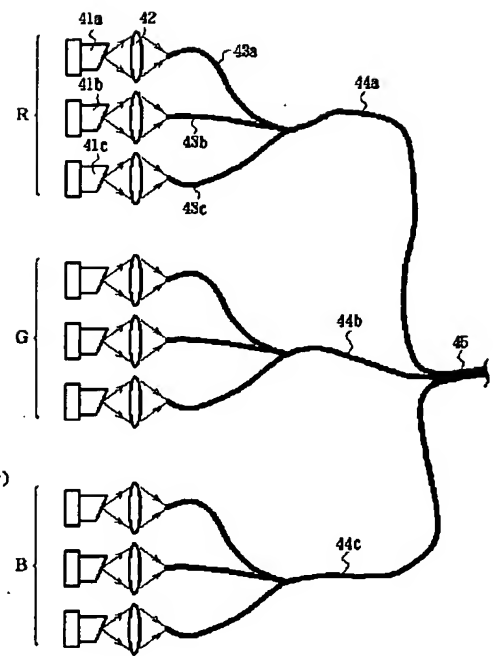
【図 23】



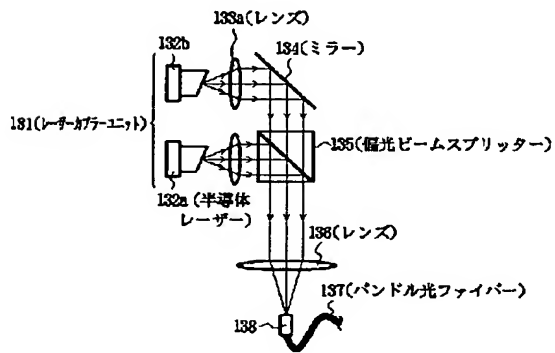
【図 12】



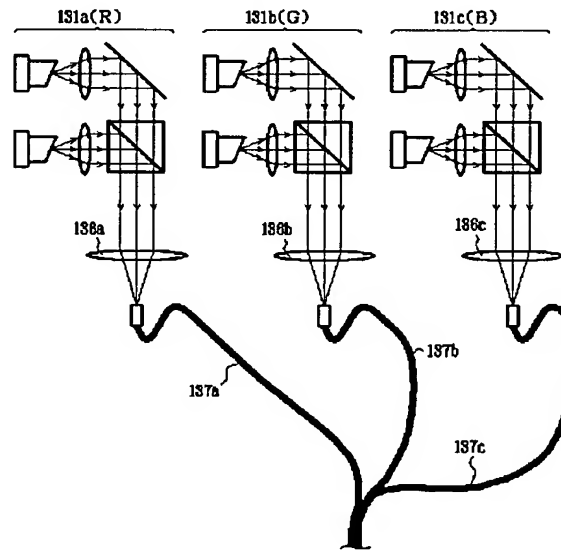
【図 14】



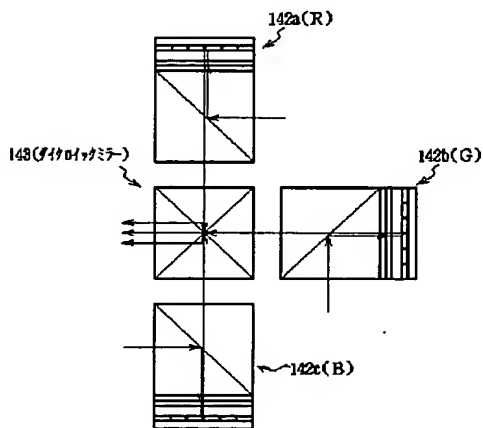
【図 15】



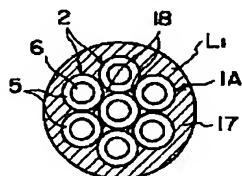
【図 16】



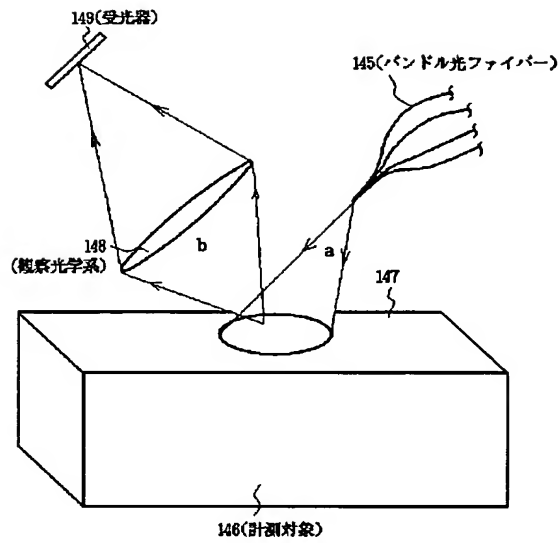
【図 18】



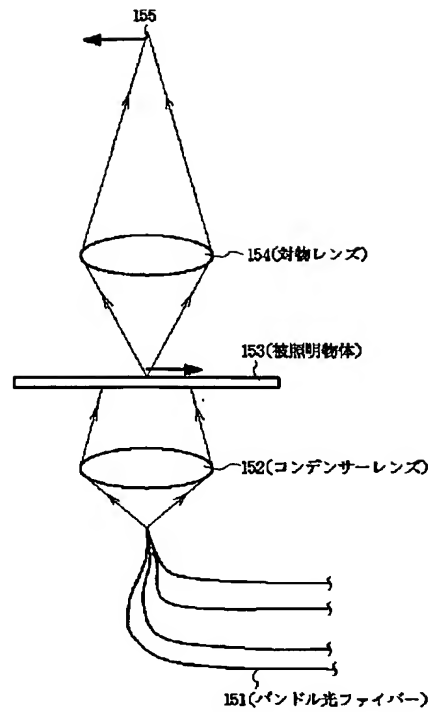
【図 27】



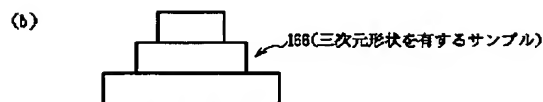
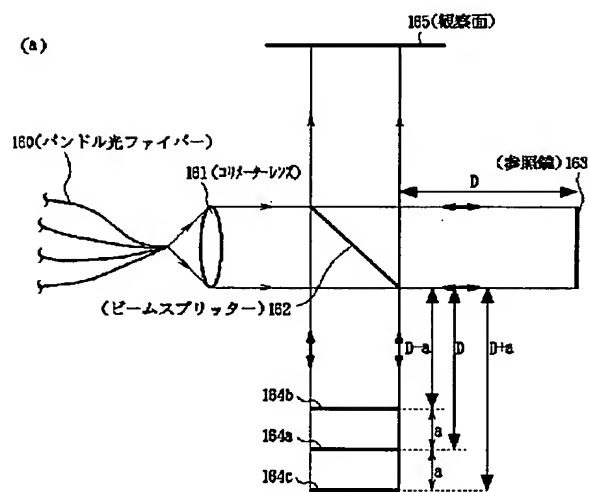
【図 19】



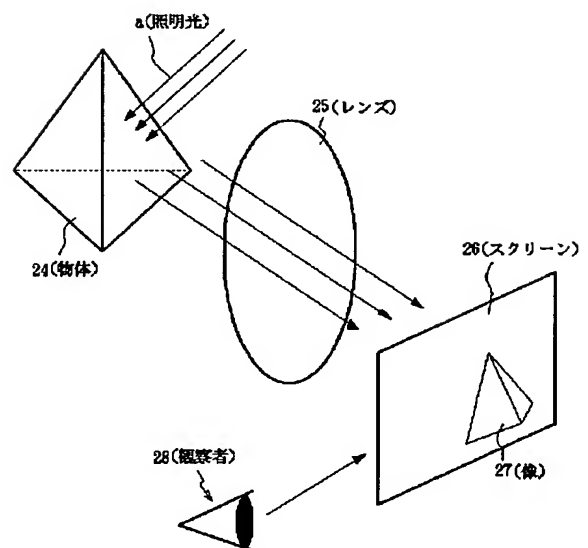
【図 20】



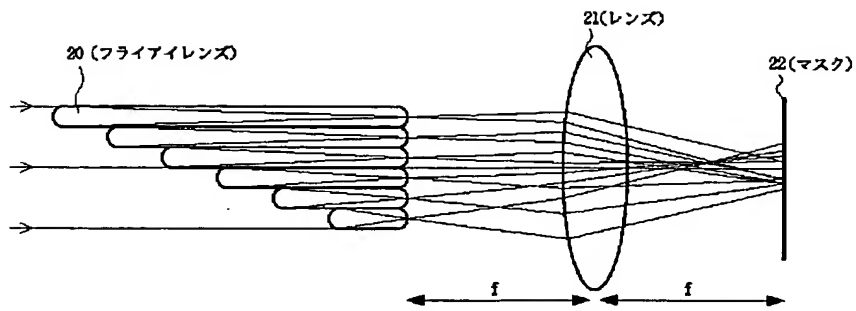
【図 21】



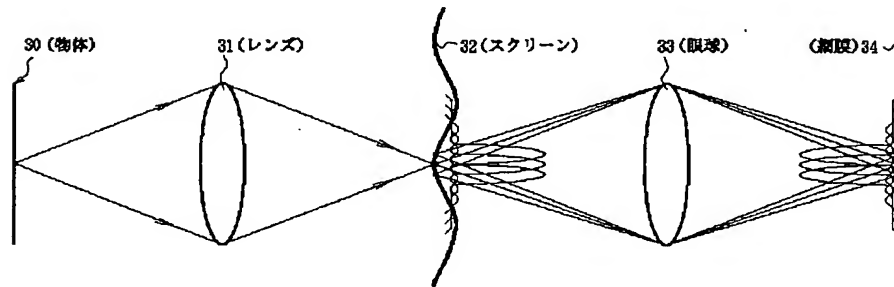
【図 24】



【図 22】



【図 25】



【図 26】

